

INT 184/93

Dezember 1993

EINFLUSS VON PLASMA-
PHYSIKALISCHEN UND PLASMA-
CHEMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON
VHF SILAN-PLASMEN AUF DIE
ABSCHIEDUNG VON AMORPHEM UND
MIKROKRISTALLINEM SILIZIUM
- JAHRESBERICHT 1993 -

Ch. Hollenstein, A.A. Howling, J.-L. Dorier



JAHRESBERICHT 1993

Über die Arbeiten gemäss Auftrag : EF - .REN. (91.) 031.

Titel des Projekts : "Einfluss von plasma-physikalischen und plasma-chemischen Eigenschaften von VHF Silan-Plasmen auf die Abscheidung von amorphem und mikrokristallinem Silizium".

Zusammenfassung : Bei der Herstellung von amorphem Silizium, wie es für die Herstellung von Solarzellen gebraucht wird, entsteht im Prozessreaktor auch sehr feinkörniges Pulver. Dieses Pulver ist das Haupthindernis die Abscheiderate zu erhöhen und gleichzeitig beeinflusst es auch wesentlich die Filmeigenschaften. Im Verlaufe des vergangenen Jahres konnten wir zum ersten Mal zeigen, dass die im Prozessplasma anwesenden negativen Ionen die Ursache für diese Pulverbildung sind. Die lange Verweilzeit dieser Anionen im Plasma führt über Polymerisationsreaktionen zu schweren Silanhydrid-Ionen, die agglomerieren und sich damit zum nanometergrossen Pulvern entwickeln. Die negativen Ionen beeinflussen daher die Abscheideplasmen in einem viel grösseren Masse als bisher allgemein angenommen. Die Leistungsmodulation der Anregfrequenz, so konnte zusätzlich gezeigt werden, beeinflusst direkt die Anionendichte im Plasma und damit auch die Pulverformation. Amorphe Siliziumschichten hergestellt in leistungsmodulierten Plasmen zeigen, dass der Anteil von leichten und schweren Anionen im auf den wachsenden Film auftreffenden Ionenfluss wesentlich die Filmqualität beeinflusst. In Edelgas verdünnten Silanplasmen konnte nachgewiesen werden, dass die Edelgase nicht die Rolle eines einfachen Buffergases übernehmen. Ueber metastabile Zustände beeinflussen diese wesentlich die Plasmaparameter, wie den Ionisationsgrad. Für das Folgeprojekt wurden erste Vorbereitungen betreffend der Installation des neuen Reaktors, sowie in Hinblick auf dessen Umrüstung auf den VHF Betrieb unternommen.

Dauer des Projekts : .1.:Juni..... 19.91. — .31..Dezember.. 1993

Beitragsempfänger : Prof. F. Troyon

Berichterstatter : Dr. Ch. Hollenstein

Adresse : Centre de Recherches en Physique des Plasmas
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
21 Av. des Bains
1007 Lausanne

Telefon : 021 - 693 34 71/87

1.) Projektziele für 1993

Bei der Herstellung von amorphen Silizium-Solarzellen werden die Abscheiderate als auch die Materialeigenschaften der amorphen Siliziumschicht wesentlich durch den verwendeten Plasmaprozess und dessen Parameter beeinflusst. In der letzten Zeit hat es sich gezeigt, dass sich gleichzeitig mit der Filmabscheidung auch feinkörniges Pulver im Reaktor bildet. Dieses im Reaktor mitgebildete Pulver stellt gegenwärtig eines der Hauptprobleme in der Herstellung von amorphem Silizium dar. Diese ungewollte Pulverbildung stellt das Hindernis dar, die für eine wirtschaftlichere Fertigung der amorphen Solarzellen wichtigen, noch höheren Abscheideraten zu erzielen. Weitere wichtige Probleme zusammenhängend mit der Pulverbildung sind neben der Kontamination des Reaktors selbst, auch die Kontamination der hergestellten Schicht und damit zusammenhängend der Filmqualität.

Die Ursachen, aber auch die Folgen der Pulverbildung auf die Filmqualität in Silan-Plasmen, wie sie zur Herstellung von Solarzellen verwendet werden, waren bislang weitgehend unbekannt. Der Schwerpunkt unserer Forschungsanstrengungen im vergangenen Jahr galt nun, ausgehend von den vielversprechenden Resultaten des Jahres 1992, dieser Pulverbildung und deren Konsequenzen. Zu diesem Zwecke sollte wiederum die Plasmazusammensetzung mit Hilfe des im Rahmen dieses Projektes gekauften Plasma Monitors untersucht werden, um die Ursachen der Pulverbildung zu klären. Dabei sollte vorallem auch die, bis jetzt spärlich untersuchten negativen Ionen in die Untersuchungen einbezogen werden. Methoden, wie die Leistungsmodulation der Anregungsfrequenz, die eine Reduzierung oder sogar eine Verhinderung der Pulverbildung zeigen, sollten auf ihre Eignung hin, in diesen für die Herstellung von Solarzellen wichtigen Plasmen geprüft werden.

2.) Durchgeführte Arbeiten im Jahre 1993

a) Negative Ionen und die Pulverbildung

Negative Ionen in reaktiven Plasmen, wie den RF Silan-Plasmen, wurden in der Vergangenheit weitgehend vernachlässigt. Mit unseren Arbeiten im Laufe des Jahres 1992 war es uns erstmalig gelungen, negative Ionen in diesen Plasmen eindeutig nachzuweisen. Dies stellte die Grundlage für weiterreichende Untersuchungen des Einflusses der negativen Ionen auf das Silanplasma und die herzustellende Schicht dar.

Mit Hilfe des Plasma Monitors wurde deshalb die Plasmazusammensetzung in VHF Silan Plasmen untersucht. Dabei wurden sowohl die Neutralkomponenten des Plasmas, als auch die positive und negative Ionenzusammensetzung gemessen. Die Massenspektren zeigten, dass nur gerade die negativen Ionen Clusterbildung aufweisen. Wie Abb.1 zeigt, wurden negative Siliziumhydrid-Cluster bis zur oberen Grenze des Plasma Monitors nachgewiesen. Ionen und Neutrale konnten dagegen nur

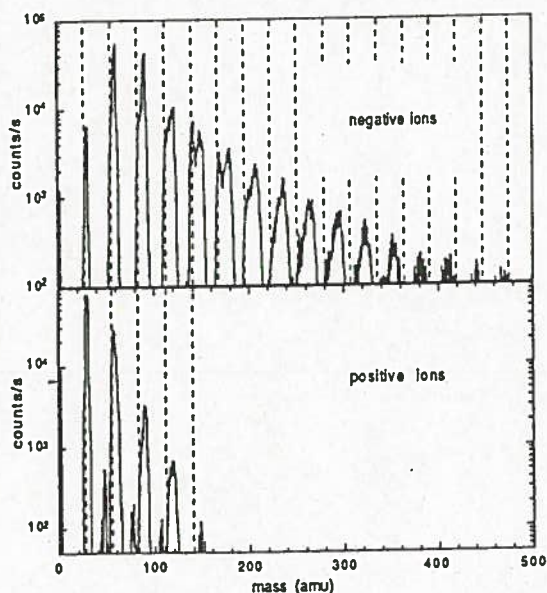


Abb. 1 Massenspektrum von positiven und negativen Ionen im RF Silan Plasma.

bis ungefähr zur Masse 150, was Silizium-Hydriden mit maximal sechs Silizium Atomen entspricht, nachgewiesen werden. Auf der anderen Seite konnten dagegen noch negative Ionen mit bis zu 16 Siliziumatomen gemessen werden. Von allen möglichen Plasmakomponenten können deshalb nur die negativen

Ionen sich zu hochmassigen Clustern weiterentwickeln. Negative Ionen bleiben dank ihrer negativen Ladung im Plasma eingeschlossen, da diese die Plasmarandschicht nicht überwinden können und verweilen deshalb viel länger im Plasma als die Neutrals und die positiven Ionen. Diese Eigenschaft führt nun dazu, dass Polymerisationsreaktionen zu immer grösseren Clustern führen können, die in der Folge agglomerieren und sich so zu Partikeln im Nanometerbereich entwickeln, dem Puder.

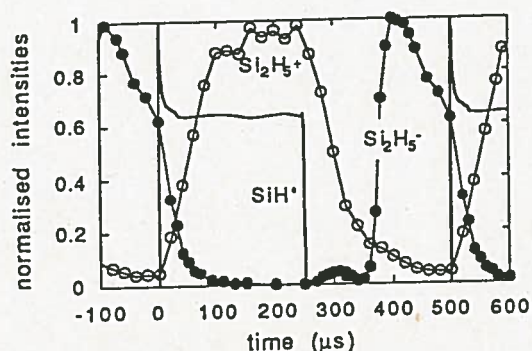


Abb. 2 Zeitaufgelöster Verlauf der Intensitäten von Si_2H_5^+ und $\text{Si}_2\text{H}_5^{-7}$ sowie der Plasmaemission von SiH^* .

zeigt die zeitaufgelösten Intensitäten von positiven und negativen Disilanzhydrid-Ionen in einem mit 2 kHz modulierten Silan-Plasma. Die SiH^* Emissionsintensität, ebenfalls eingezeichnet in dieser Abbildung, folgt, bis auf die Einschaltspitze der Hochfrequenzleistung. Der Verlauf der positiven Si_2H_5 Ionen zeigt einen Aufbau dieser Plasmakomponente während der Plasmaperiode und fällt anschliessend in der sogenannten Afterglowphase rasch ab. Einen ganz anderen Verlauf der Intensitäten wurde für das negative Si_2H_5 Ion gemessen. Während der Plasmaperiode werden keine negativen Ionen gemessen, da die negativen Ionen in der Entladung gefangen sind. Auch nach ausschalten des Plasmas werden die negativen Ionen erst mit einer Verzögerung detektiert. Diese Verzögerung entspricht der Zeit bis die elektrostatische Randschicht zusammengebrochen ist. Erst nach dem Zusammenbruch dieser Plasmaschicht werden die negativen Ionen freigesetzt. Der sofort nach ausschalten des Plasmas gemessene kleine Anteil von negativen Ion führt von Elektronenattachment-Reaktionen mit den freien Plasmaelektronen her. Zeitaufgelöste Ionenintensitäten in Funktion der Modulationsfrequenz zeigten (Abb.3b), dass, wenn bei tiefen Modulationsfrequenzen die plasmafreie Phase genügend lange andauert, alle negativen Ionen und im Extremfall sogar Partikel den Entladungsraum verlassen. Mit zunehmender Modulationsfrequenz können zuerst schwere Siliziumhydride den Entladungsraum nicht mehr verlassen. Bei Modulationfrequenzen in der Grössenordnung von 10 kHz ist die plasmafreie Periode zu kurz um überhaupt negative Ionen freizusetzen. In diesem Fall kommt es zu einer Akkumulation der negativen Ionen, wie im unmodulierten Plasma, die nun in der Folge zur Pulverbildung führt. Die in Abb. 3a gezeigten positiven Ionen weisen dagegen keine Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz auf.

Ionen-Moleküle Reaktionen wurden als möglicher Polymerisationsweg vorgeschlagen, um die Bildung schwerer Siliziumhydrid-Cluster in diesen Plasmen zu erklären. Ausgehend von diesem Reaktionschema wurde ein Modell entwickelt, um die Resultate der negativen Ionen im RF Silan Plasma zu beschreiben. Abb. 3c zeigt, dass mit diesem einfachen Modell die Messungen sehr gut reproduziert werden konnten. Mit Hilfe dieses Modells konnte auch die relative negative Ionendichte im Plasma berechnet werden. Diese zeigt (Abb. 3d), dass die geschätzte Anionendichte im Plasma ein ausgesprochenes Minimum im kHz Bereich besitzt. Diese Tatsache ist auch in Übereinkunft mit unseren Erfahrungen, dass in diesem Bereich ein Minimum an Pulver gebildet wird.

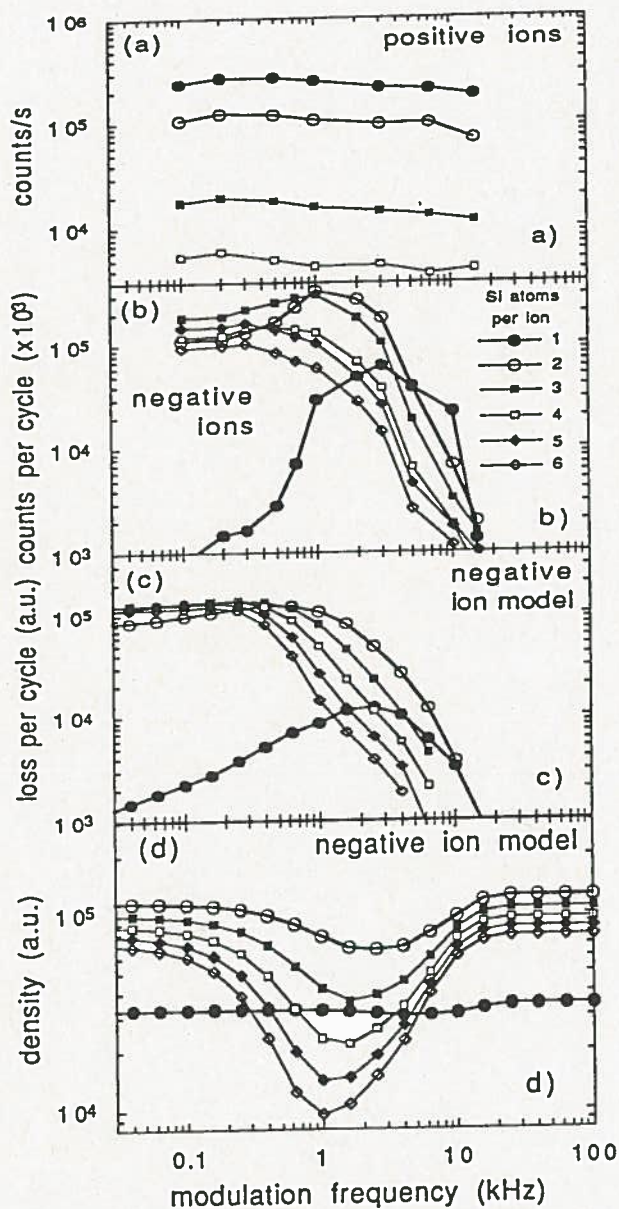


Abb. 3 Abhängigkeit der a) positiven und b) negativen Ionen von der Modulationsfrequenz. Die berechnete Frequenzabhängigkeit für den Anionen-Verlustfluss c) und d) die geschätzte Anionendichte im Silan-Plasma.

Lichtstreuexperimente (Rayleigh und Mie Streuung) bestätigten zudem auf klare Art und Weise die Korrelation zwischen der Bildung von Pudern und der negativen Ionendichte im Silan Plasma.

Alle diese Resultate und Modelberechnungen erklären vollumfänglich die Pulverbildung in diesen Plasmen. Es kann deshalb angenommen werden, dass die negativen Ionen in den RF Silan Plasmen die Ursache für die Pulverbildung sind. Die negativen Ionen beeinflussen daher die Abscheideplasmen in einem viel grösseren Masse als allgemein angenommen. Die Leistungsmodulation wirkt direkt auf die Population der negativen Ionen im Plasmas und beeinflusst deshalb wesentlich die Pulverbildung. Mit Hilfe dieser direkt auf die Ursache der Pulverbildung wirkenden Methode kann deshalb der Puder in der Entladung eliminiert oder zumindest stark reduziert werden.

b) Amorphe Siliziumschichten und die Pulverbildung
Leistungsmodulation der Silan Plasmen ist eine vielversprechende Technik um die Pulverbildung zu kontrollieren. Es ist deshalb von grosser Wichtigkeit die unter solchen Bedingungen gewachsen Filme auf ihre Eignung für die Solarzellenherstellung zu untersuchen. Verschiedenste frühere Publikationen verwiesen in diesem Zusammenhang auf die wichtige Rolle, die negative Ionen auf die Filmqualität ausüben könnten, ohne jedoch direkte Messungen dieser vorzuweisen. Es wurden deshalb im vergangenen Projektjahr am CRPP systematisch Filme mit Hilfe von leistungsmodulierten Silan-Plasmen

hergestellt und anschliessend am IMT in Neuchâtel untersucht. Die Depositionsmechanismen von amorphem Silizium sind bis jetzt noch weithin unbekannt und solche Untersuchungen könnten ausserdem auch dazu beitragen diese Mechanismen besser zu verstehen. Aus diesem Grund wurden die Filme gewollt bei nicht optimalen Bedingungen hergestellt um den Einfluss der negativen Ionen besser von anderen Depositionsmechanismen unterscheiden zu können. Neben der erhaltenen Depositionsrate wurden die Schichten auf ihren Wasserstoffgehalt, ihre internen Spannungen, die Urbachenergie und die Defektdichte hin, untersucht. Da der positive Ionenfluss in Funktion der Modulationsfrequenz konstant bleibt, kann angenommen

werden, dass die gemittelte Modulationsfrequenz abhängt. Wir

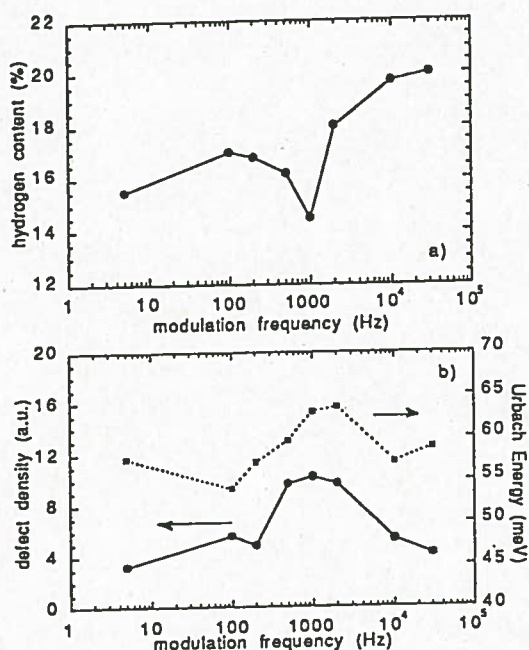


Abb. 4 a) Wasserstoffgehalt der Schicht und b) die Defektdichte und die Urbach Energie in Funktion der Modulationsfrequenz.

Elektronendichte nicht von der konnten deshalb annehmen, dass Änderungen in den Materialeigenschaften im wesentlichen Veränderungen im Anionenfluss zu zuschreiben sind.

Dies wird noch unterstützt durch die Tatsache, dass die Depositionrate unverändert bleibt bis zu einer Modulationsfrequenz von etwa 1 kHz und nachher steil ansteigt. Dieser Anstieg der Abscheiderate, so zeigen Messungen der Elektrodenspannung deutlich, ist eine Folge der geänderten Plasmaimpedanz infolge der startenden Pulverbildung bei dieser Modulationsfrequenz. Der Wasserstoffgehalt der Schicht (Abb. 4a) zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Depositionsrates. Der tiefere Wasserstoffgehalt der Schicht kann dadurch erklärt werden, dass bei tiefen Frequenzen schwere negative Ionen den Hauptanteil des Anionenflusses ausmachen. Diese schwere Anionen, so zeigen die Massenspektren besitzen weniger Wasserstoffatom pro Ion was zu einer wasserstoffärmeren Schicht beitragen

kann. Für höhere Frequenzen überwiegen zuerst leichte Siliziumhydrid-Ionen und später nur noch neutrale Radikale, beide mit höherem Wasserstoffanteil, was in einem höherem Wasserstoffgehalt der Schicht resultieren kann. Die Defektdichte sowie die Urbachenergie (Abb. 4b) haben ein ausgesprochenes Maximum im Bereich zwischen 500 Hz und einigen Kilohertz, schlechtere Materialeigenschaften andeutend. Auch in diesem Fall scheint die Verteilung zwischen schweren und leichten negativen Ionen des Anionenflusses wesentlich beteiligt zu sein.

Diese Anzeichen deuten darauf hin, dass Filme hergestellt in pulverfreien Plasmen schlechtere Materialeigenschaften zu haben scheinen als Filme in pulverarmen (tiefe Modulationsfrequenzen) oder in puderreichen Plasmen. Weitere Arbeiten, in diesem für die Weiterentwicklung der Prozesstechnik wichtigen Gebiet sind in Zusammenarbeit mit dem IMT geplant.

c) Edelgas verdünnte Silan Plasmen

Edelgas verdünnte Silane Plasmen bilden einen möglichen Weg stabilere Solarzellen herzustellen. (siehe Jahresberichte 1992 des IMT und des CRPP's). Der genaue Einfluss des Edelgases auf die Entladung und auf die Schicht sind weiterhin unbekannt. Es wurden deshalb Argon verdünnte Silan Plasmen untersucht mit dem Ziel vorhergehende Resultate, wie die Erhöhung des Ionisationsgrades in diesen Plasmen zu erklären. Mit Hilfe der Absorptionsspektroskopie konnte dabei nachgewiesen werden, dass schon eine kleine Beimischung von Silan in ein Argonplasma die Dichte der metastabilen Argonzustände auf unmessbare Werte reduziert (Abb. 5). Hierbei sei auch erwähnt, dass die Dichte der Metastabilen in einem reinen Argonplasma viele grösser ist, als die freie Ionendichte. Es konnte weiter gezeigt werden, dass das sogenannte Quenching der metastabilen Zustände für die Dissoziation des Silans

so wichtig wird, wie Dissoziation durch Elektronenstösse selbst. Zusammenfassend darf deshalb gesagt werden, dass Argon oder im allgemeinen die Edelgase nicht nur die Rolle eines passiven Buffergas besitzen, sondern über deren metastabilen Zustände stark die Dissoziation des Silans und damit die Eigenschaften des Depositionsplasmas entscheidend mitbeeinflussen.

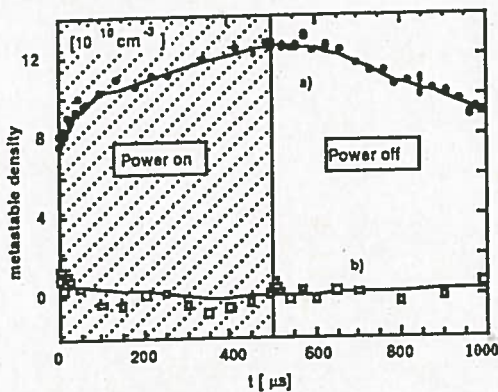


Abb. 5 Zeitliche Entwicklung der Dichte der metastabilen Zustände in a) einem Argon Plasma und b) einem Argon Plasma mit 4% Silan

d) Grossflächige Abscheidungen

Das Folgeprogramm 1994-1996 wird ganz der grossflächigen Abscheidung von amorphen Siliziumschichten gewidmet sein. Im Laufe dieses Jahres wurden zahlreiche Vorbereitungen für die neue Projektphase getroffen um die nachfolgenden Konstruktionsphasen so kurz als möglich zu gestalten.

In enger Zusammenarbeit mit der Balzers AG wurden die notwendigen Aenderungen am Plasma-Box Reaktor definiert. Dies betrifft vorallem die notwendigen Zugriffe für die geplanten Diagnostikmethoden (Lichtstreuung), die so angepasst werden müssen, um das thermische Gleichgewicht des Reaktor und damit die Homogenität der Schicht nicht zu stören. Im weiteren wurden erste Arbeiten bezüglich des Pumpsystemes, der Gasversorgung vorgenommen. Betreffend der geplanten VHF Operation des Reaktors wurden erste, noch theoretische Arbeiten unternommen, um die optimale Frequenz zu bestimmen. Dabei erwiesen sich die numerischen Simulationen eines Argonplasmas als sehr nützlich. Die Energie der auf den Film auftreffenden Ionen sollte, um gute Filmqualität zu erhalten, so klein als möglich gehalten werden. Die maximale Ionenenergie ist aber auch durch die Plasmaleistung bestimmt. Bei einer vorgegebenen maximalen RF Leistung wird durch eine Erhöhung der Frequenz keine zusätzliche Reduktion der Ionenenergie mehr erreicht. Dieses Resultate könnte die Wahl der festzulegenden Frequenz wesentlich mitbestimmen.

3.) Zusammenarbeit

Die jahrelange Zusammenarbeit mit dem IMT in Neuchâtel hat sich auch im vergangenen Projektjahr wiederum als sehr erfolgreich erwiesen. Die erzielten Erfolge zeigen deutlich, dass eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen verschiedensten Fachgebieten und Universitäten äusserst bereichernd ist für die Abwicklung von Forschungsprojekten, wie dem hier vorliegenden.

Im Rahmen des in diesem Jahr auslaufenden BRITE-EURAM Projektes wurde die ausgezeichnete Zusammenarbeit mit dem Laboratoire des Couches Minces an der Ecole Polytechnique in Palaiseau den Universitäten Orleans, Eindhoven und Barcelona weiter verstärkt. Dieses Projekt beinhaltete die Untersuchung der Pulverbildung in Tief-Temperatur und Niederdruck-Plasmen. Eine Fortsetzung dieses BRITE-EURAM Projektes wurde im Laufe dieses Jahres genehmigt und das Projekt sollte Anfang 1994 gestartet werden, nach den abschliessenden Verhandlungen in Brüssel. Das neue, drei Jahre dauernde europäische Projekt wurde durch die Teilnahme der Universitäten Lisabon, Lyon und Toulouse verstärkt. In diesem BRITE-EURAM Projekt wird dem CRPP die Führung der Hauptaktivität "Pulverelimination in reaktiven Plasmen" übertragen werden. Zusammenfassend darf gesagt werden, dass diese weitgespannte, europäische Zusammenarbeit sich auf das vorliegende Projekt als sehr fruchtbar erwiesen hat.

In diesem Zusammenhang soll auch die Zusammenarbeit mit Instituten, des in Frankreich auf dem Gebiet des amorphen Siliziums führenden Arbeitsgemeinschaft ARC (Ecole Polytechnique de Palaiseau, Universitäten Orleans, Toulouse, das PRISEM (Programme Interdisciplinaire de Recherches sur les Sources d'Energies et les Matières Premières du CRNS), das AFME (Agences Française pour la Maîtrise de l'Energie, Service Techniques Nouvelle) erwähnt werden.

Ausgezeichnete Kontakte und Zusammenarbeit betreffend unserer gegenwärtigen und zukünftigen Projekte für die Abscheidung von amorphem Silizium für Solarzellen wurden im vergangenen Jahr mit der Industrie (Balzers und Alusuisse) geschlossen. Im Vordergrund stand dabei das Folgeprojekt zur grossflächigen Abscheidung von amorphen Siliziumschichten. Die während der Vorbereitungsphase für dieses Projekt geschlossene, enge und offene Zusammenarbeit mit der Balzers AG in Balzers und der Balzers (France) (vormals Solems) in Palaiseau wird einer der Eckpfeiler für die erfolgreiche Durchführung dieses neuen Projektes darstellen. Mit Prof. Birdsall von der Universität Berkeley wurden die Arbeiten zur Simulation der VHF Entladungen fortgesetzt. Verschiedenste interessante Kontakte wurden mit KFA Jülich und den Universität Düsseldorf und Stuttgart gepflegt.

4.) Transfer

Die Resultate betreffend der Pulverbildung in Silanplasmen stiessen sowohl in wissenschaftlichen wie auch bei industriellen Kreisen auf höchste Beachtung. Das Interesse von der wissenschaftlichen Seite wurde unter anderem unterstrichen durch eine Einladung zu einem Vortrag am NATO Workshop in Toulouse, der ganz der Pulverproblematik gewidmet war. Das Interesse der Industrie am vorliegenden Projekt und dem Nachfolgeprojekt wird durch die in diesem Jahr vereinbarte Zusammenarbeit mit der Balzers AG bekräftigt. Die geplanten grossflächigen Abscheidungen werden deshalb im Rahmen dieser Zusammenarbeit durchgeführt werden. Die erhaltenen Grundlagen über die Pulverbildung in reaktiven Plasmen sind für die Industrie und im besonderen für die Prozessanlagen herstellende Industrie von besonderer Bedeutung um die bestehenden Anlagen und Prozesse in der Zukunft noch zu verbessern. Verbesserungen im Bereich Herstellung sind in der Zukunft aber deshalb wichtig um das amorphe Silizium und dessen Verwendung in der Solarzellentechnologie wirtschaftlicher und damit noch attraktiver zu gestalten.

5.) Perspektiven für das Jahr 1994

Das Jahr 1994 stellt der Beginn des Folgeprojektes mit dem Titel "Grossflächige Abscheidung von amorphen, photovoltaischen Silizium-Schichten" dar. Zu diesem Zwecke wird ein sogenannter Plasmas-Box Reaktor am CRPP installiert werden und im Verlaufe des Jahres sollten erste Experimente betreffend die Pulverdynamik bei 13 MHz durchgeführt werden. Die zu installierende Anlage erlaubt die Beschichtung von Substraten von einer Grösse von 35 cm x 40 cm und soll in einer zweiten Phase auf den VHF Betrieb umgestellt werden. Die Perspektiven für 1994 sind also zumindest zu Beginn des Jahres mit dem Aufbau und Tests dieser neuen Experimentieranlage verbunden. Nachfolgend soll, wie schon erwähnt die Pulverbildung und die Pulverdynamik in diesem viel komplexeren Reaktor untersucht werden. Lichtstreuung mit verschiedenen Wellenlängen stellen dabei die Hauptdiagnostik dar. Diese angewandten Resultate sollen durch weitere Grundlagenforschung aus dem parallel laufenden BRITE-EURAM Projekt ergänzt werden. Diese Arbeiten sollen in enger Zusammenarbeit mit der Balzers AG durchgeführt werden. Der Betrieb zuerst bei 13 MHz wurde gewählt, da der Umbau auf den VHF Betrieb der Anlage wahrscheinlich grössere Anstrengungen vorallem auf der RF Seite (RF Anpassung und Elektrodendesign) verlangen wird und zuerst natürlich auch

die notwendigen Erfahrungen im Umgang mit dem Reaktor gemacht werden sollen, da die Anlage von ihrer Auslegung her bei dieser tiefen Frequenz arbeitet.

6.) Publikationen 1993

Veröffentlichungen:

- 1 A. A. Howling, J.-L. Dorier und Ch. Hollenstein, "Negative ion mass spectra and particulate formation in rf silane plasma deposition experiments", Appl. Phys. Lett. 62 1341 (1993).
- 2 A. A. Howling, L. Sansonnens, J.-L. Dorier und Ch. Hollenstein, "Negative hydrogenated silicon ion clusters as particle precursors in rf silane plasma deposition experiments", J. Phys. D: Appl. Phys. 26 1003 (1993).
- 3 A. A. Howling, L. Sansonnens, J.-L. Dorier und Ch. Hollenstein, "Time-resolved measurements of highly-polymerised negative ions in rf silane plasma deposition experiments", angenommen in J. Appl. Phys.
- 4 J. Dutta, J.-L. Dorier, Ch. Hollenstein, A. A. Howling, L. Sansonnens, C. Nieswand, A. Fasoli und T. Stoto, "Room Temperature Visible Photoluminescence from Silicon Particulates Prepared in a RF Silane Plasma", eingereicht an Appl. Phys. Lett.
- 5 U. Kroll, J. Meier, M. Goetz, A. Howling, J.-L. Dorier, J. Dutta, A. Shah und Ch. Hollenstein, "Influence of higher deposition temperature on a-Si:H material properties, powder formation and light-induced degradation, using the VHF (70 MHz) glow discharge technique", eingereicht an J. Non-Cryst. Solids.
- 6 Ch. Hollenstein, J.-L. Dorier, J. Dutta, L. Sansonnens, und A. A. Howling, "Diagnostics of Particle Genesis and Growth in RF Silane Plasmas by Ion Mass Spectrometry and Light Scattering", eingereicht an Plasma Source Science and Technology

Interne Veröffentlichungen:

- 1 L. Sansonnens, Diplomarbeit März 93, "Etude par spectroscopie de masse et spectroscopie optique de plasmas rf avec modulation de puissance".

Seminarien und Beiträge:

- 1 A. A. Howling und Ch. Hollenstein, "Modulation, Simulation and Dilution in Silane Plasma Deposition", 12 March 93, IMT Neuchâtel.
- 2 A. A. Howling und Ch. Hollenstein, "Clusters and Nano-Particles in RF Silane Plasmas", Formation Continue EPFL/IMT, CRPP 7 Mai 93.
- 3 Ch. Hollenstein "Clusters and Nanoparticles in RF Silane Plasmas"
- Departement de Physique EPFL 11. Mai 1993
- 4 Ch. Hollenstein "BEW Projects at the CRPP: Status and Future" GEPR in Bern
30. August 1993
- 5 A. A. Howling, "Particles in RF Silane Plasmas: From Negative Ions to Film Properties", IMT Neuchâtel 12. November 1993.

Teilnahme an Konferenzen:

- 1 J.-L. Dorier, 9th Intl. Colloquium on Plasma Processes, Antibes 6-11 June 93.
- 2 Ch. Hollenstein und A. A. Howling, Invited paper am NATO Advanced Research Workshop "Formation, Transport and Consequences of Particles in Plasmas", Château de Bonas, France 30 August 1993.